

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 681.2.001.5:519.68

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СИЛ РІЗАННЯ ТА ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ НЕЧІТКИМ МЕТОДОМ ГРУПОВОГО ВРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

Вислоух С.П., Катрук О.В. Заїка А.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Розглядаються питання використання нечіткого методу групового врахування аргументів для моделювання та прогнозування технологічних параметрів. Наведено переваги цього методу перед класичним МГВА та приклад використання створеної системи моделювання для прогнозування вихідних технологічних параметрів процесу різання

Вступ і постановка задачі

Розв'язання задач технологічної підготовки виробництва вимагає використання адекватних математичних моделей вихідних параметрів та показників технологічних процесів. Застосування обчислювальної техніки при виконанні розрахунків дозволяє оперувати складними схемами і методами, але часто, через недостатню формалізацію задач, отримані моделі у вигляді аналітичних залежностей є неадекватними реальним технологічним процесам.

З метою отримання аналітичних залежностей в даний час широко використовують методи математичного та імітаційного моделювання. Для цього застосовують спеціальні методи та засоби, які легко реалізуються на ЕОМ. Дієвими методами математичного моделювання технологічних параметрів є методи евристичної самоорганізації. До таких методів, що дозволяють отримати зручні для використання в технологічних розрахунках математичні моделі, є методи групового врахування аргументів (МГВА). Ці методи мають значні переваги перед відомими статистичними методами – регресійним аналізом та плануванням експериментів, вони використовують зовнішні критерії якості отриманих моделей, що дозволяє визначити математичну модель оптимальної складності [1]. Але, незважаючи на такі позитивні якості використання методів групового врахування аргументів для математичного моделювання, вони, які в подальшому будемо називати класичними, мають деякі недоліки. Це, передусім, можливість отримати вихідний параметр, при його прогнозуванні, в одній визначеній точці, хоча, зазвичай, прогнозоване значення буде знаходитись в деякому допустимому інтервалі значень. Крім того, класичний метод групового врахування аргументів при близьких значеннях початкових (вхідних) даних може отримати «ефект виродженості» в наслідок того, що для визначення коефіцієнтів моделі використовується метод Гауса розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь в методі найменших квадратів.

Тому поставлена задача розробки методики отримання математичних моделей, яка базується на методі МГВА, але не має недоліків класичного методу.

Розв'язання поставленої задачі

Роботи, що виконані під керівництвом Ю.П. Зайченка [2–4], дозволили створити нечіткий метод групового врахування аргументів, який немає недоліків класичного методу тому, що використовує для визначення коефіцієнтів математичної моделі методи лінійного математичного програмування. Розроблено алгоритм цього методу, який наведено в [5], на основі якого створено систему моделювання на алгоритмічній мові C++. Загальний вигляд інтерфейсу розробленої системи показано на рис. 1.

Розроблену методику отримання математичних моделей нечітким методом групового врахування апробовано при моделюванні сил різання та шорсткості обробленої поверхні процесу токарної обробки заготовки із сталі 4X13 прохідним різцем з різальною крайкою із твердого сплаву T15K6.

Експериментальні дослідження виконувались на токарному верстаті моделі 1K62. При цьому швидкість різання V змінювалась в межах від 50 до 120 м/хв., подача s – 40..100 мм/хв., а глибина t варіювалась в межах від 0,2 до 0,5 мм. Враховували також і час різання τ . Вимірювання складових сил різання P_x , P_y , P_z здійснювали за допомогою динамометра УДМ-100, отримані значення сил різання були в межах 80...350 Н. Шорсткість поверхні вимірювали за допомогою профілометра моделі MarSurf PS1, при цьому отримали значення параметра R_z в межах 10...80 мкм.

	Mat	Ins	V	S	t	h
1	2	1	47,1	0,07	0,8	29
2	3	2	75,36	0,07	0,5	8
3	1	3	94,2	0,07	1	10
4	4	4	141,3	0,07	0,6	233
5	5	5	188,4	0,07	0,7	86
6	1	5	47,1	0,11	0,5	4
7	4	3	75,36	0,11	1	56
8	3	1	94,2	0,11	0,6	28
9	5	2	141,3	0,11	0,7	2
10	2	4	188,4	0,11	0,8	14
11	3	4	47,1	0,14	1	26
12	5	1	75,36	0,14	0,6	4
13	4	5	94,2	0,14	0,7	257
14	2	3	141,3	0,14	0,8	116
15	1	2	188,4	0,14	0,5	18
16	5	3	47,1	0,21	0,6	53
17	1	4	75,36	0,21	0,7	4

Рис. 1. Загальний вигляд інтерфейсу системи моделювання, що реалізує нечіткий МГВА

В результаті обробки результатів проведеного експерименту за нечітким методом групового врахування аргументів за допомогою розробленої системи моделювання отримано аналітичні залежності складових сил різання та шорсткості обробленої поверхні, які мають вигляд:

$$P_x = 0,004747 \cdot V + 0,06977 \cdot s + 329,846 \cdot t + 241,7978 \cdot t^2 + 0,5897987 \cdot \tau + 7,54375 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 + 2,217 \cdot 10^{-5} \cdot V \cdot s + 0,000162963 \cdot s^2 + 5,5485 \cdot 10^{-5} \cdot V \cdot t + 4,03498 \cdot 10^{-5} \cdot V \cdot t^2 + 9,92 \cdot 10^{-8} \cdot V \cdot \tau + 1,2683 \cdot 10^{-13} \cdot V^3 + 5,59237 \cdot 10^{-12} \cdot V^2 \cdot s + 8,21954 \cdot 10^{-11} \cdot V \cdot s^2 + 0,0008155 \cdot s \cdot t + 0,000593 \cdot s \cdot t + 1,458214 \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot \tau + 4,0269 \cdot 10^{-10} \cdot s^3 + 2,8035 \cdot t^3 + 0,00689 \cdot t \cdot \tau + 8,812 \cdot 10^{-9} \cdot V^2 \cdot t + 2,59 \cdot 10^{-7} \cdot V \cdot s \cdot t + 1,9036 \cdot 10^{-6} \cdot s^2 \cdot t + 1,0194 \cdot t^4 + 0,005 \cdot t^2 \cdot \tau + 6,40835 \cdot 10^{-9} \cdot V^2 \cdot t^2 + 1,88377 \cdot 10^{-7} \cdot V \cdot s \cdot t^2 + 1,384363 \cdot 10^{-6} \cdot s^2 \cdot t^2 + 6,162976 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^4 + 1,5757 \cdot 10^{-11} \cdot V^2 \cdot \tau^2 + 4,631863 \cdot 10^{-10} \cdot V \cdot s \cdot \tau^2 + 3,4039 \cdot 10^{-2} \cdot \tau^2 + 1,007158 \cdot 10^{-17} \cdot V^4 + 5,921194 \cdot 10^{-16} \cdot V^3 \cdot s + 1,3054259 \cdot 10^{-14} \cdot V^2 \cdot s^2 + 1,279124 \cdot 10^{-13} \cdot V \cdot s^3 + 4,7 \cdot 10^{-13} \cdot s^4;$$

$$P_y = 0.01065899 \cdot V + 1.755 \cdot s + 0.01659 \cdot V \cdot t + 0.0009268 \cdot V \cdot \tau + 0.0006966 \cdot V \cdot t \cdot \tau + 0.127429 \cdot s \cdot t + 0.056 \cdot s \cdot \tau + 0.0053499 \cdot s \cdot t \cdot \tau + 0.0051 \cdot s^2 + 0.000149252 \cdot s^2 \cdot \tau;$$

$$P_z = 91.663 + 0.0652 \cdot \tau^2 + 0.0024484 \cdot (V \cdot t)^2 + 1.0859 \cdot t^2 \cdot \tau^2 + 0.04 \cdot t^2 \cdot (V \cdot t)^2 + 0.75082 \cdot \tau + 0.0012295 \cdot \tau^3 + 4.61565 \cdot 10^{-5} \cdot \tau \cdot (V \cdot t)^2 + 0.02047 \cdot t^2 \cdot \tau^3 + 0.000768 \cdot t^2 \cdot \tau \cdot (V \cdot t)^2 + 0.0003148 \cdot s \cdot \tau + 5.155433 \cdot 10^{-7} \cdot s \cdot \tau^3 + 1.935 \cdot 10^{-8} \cdot s \cdot \tau \cdot (V \cdot t)^2 + 8.58341 \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot t^2 \cdot \tau^3 + 3.2221 \cdot 10^{-7} \cdot s \cdot t^2 \cdot \tau \cdot (V \cdot t)^2 + 0.001866 \cdot s^2 + 3.0561 \cdot 10^{-6} \cdot s^2 \cdot \tau^2 + 1.147222 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 \cdot (V \cdot t)^2 + 5.088 \cdot 10^{-5} \cdot s^2 \cdot t^2 \cdot \tau^2 + 1.91 \cdot 10^{-6} \cdot s^2 \cdot t^2 \cdot (V \cdot t)^2 + 5.4276 \cdot 10^{-16} \cdot t + 8.8884 \cdot 10^{-19} \cdot t \cdot \tau^2 + 3.3366 \cdot 10^{-20} \cdot t \cdot (V \cdot t)^2 + 1.479858 \cdot 10^{-17} \cdot t^3 \cdot \tau^2 + 5.555 \cdot 10^{-19} \cdot t^3 \cdot (V \cdot t)^2 + 8.73844 \cdot 10^{-14} \cdot t^2 + 2.38257 \cdot 10^{-15} \cdot t^4 \cdot \tau^2 + 8.94387 \cdot 10^{-17} \cdot t^4 \cdot (V \cdot t)^2 + 4.49 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^4 + 3.37 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^2 \cdot (V \cdot t)^2 + 0.0014955 \cdot t^2 \cdot \tau^4 + 0.0001123 \cdot t^2 \cdot \tau^2 \cdot (V \cdot t)^2 + 6.3288 \cdot 10^{-8} \cdot (V \cdot t)^4 + 2.1 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot (V \cdot t)^4 + 0.0124496 \cdot t^4 \cdot \tau^4 + 0.000934 \cdot t^4 \cdot \tau^2 \cdot (V \cdot t)^2 + 1.75435 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 \cdot (V \cdot t)^4;$$

$$R_z = 4.39874 + 6.64 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 + 4.893 \cdot 10^{-5} \cdot s \cdot \tau + 1.099 \cdot 10^{-5} \cdot s^2 + 6.43 \cdot 10^{-6} \cdot s^2 \cdot \tau^2 + 2.8887 \cdot 10^{-6} \cdot s^3 \cdot \tau + 3.244 \cdot 10^{-7} \cdot s^4 + 9.2999 \cdot 10^{-18} \cdot V^8 + 1.36623 \cdot 10^{-14} \cdot V^4 \cdot s \cdot \tau + 3.056 \cdot 10^{-15} \cdot V^4 \cdot s^2 + 1.79529 \cdot 10^{-15} \cdot V^4 \cdot s^2 \cdot \tau^2 + 8.03185 \cdot 10^{-16} \cdot V^4 \cdot s^3 \cdot \tau + 8.983 \cdot 10^{-17} \cdot V^4 \cdot s^4 + 1.35989 \cdot 10^{-12} \cdot s^3 \cdot \tau^3 + 9.4899 \cdot 10^{-13} \cdot s^4 \cdot \tau^2 + 2.275 \cdot 10^{-13} \cdot s^5 \cdot \tau + 1.863 \cdot 10^{-14} \cdot s^6 + 8.9348 \cdot 10^{-14} \cdot s^4 \cdot \tau^4 + 8.3127 \cdot 10^{-14} \cdot s^5 \cdot \tau^3 + 2.989 \cdot 10^{-14} \cdot s^6 \cdot \tau^2 + 4.89627 \cdot 10^{-15} \cdot s^7 \cdot \tau + 3.061 \cdot 10^{-16} \cdot s^8 + 3.272 \cdot 10^{-21} \cdot s^8 \cdot \tau^2 + 6.6555 \cdot 10^{-22} \cdot s^9 \cdot \tau + 7.33174 \cdot 10^{-21} \cdot s^7 \cdot \tau^3 + 4.99034 \cdot 10^{-23} \cdot s^{10} + 7.5698 \cdot 10^{-21} \cdot s^6 \cdot \tau^4 + 2.866 \cdot 10^{-22} \cdot s^9 \cdot \tau^3 + 8.745847 \cdot 10^{-23} \cdot s^{10} \cdot \tau^2 + 4.8172 \cdot 10^{-22} \cdot s^8 \cdot \tau^4 + 1.31 \cdot 10^{-23} \cdot s^{11} \cdot \tau + 3.97893 \cdot 10^{-22} \cdot s^7 \cdot \tau^5 + 7.6664 \cdot 10^{-25} \cdot s^{12} + 2.92466 \cdot 10^{-21} \cdot s^5 \cdot \tau^5 + 1.281 \cdot 10^{-22} \cdot s^6 \cdot \tau^6 + 3.74712 \cdot 10^{-28} \cdot s^{11} \cdot \tau^3 + 9.27698 \cdot 10^{-29} \cdot s^{12} \cdot \tau^2 + 8.51628 \cdot 10^{-28} \cdot s^{10} \cdot \tau^4 + 1.2 \cdot 10^{-29} \cdot s^{13} \cdot \tau + 1.0926 \cdot 10^{-27} \cdot s^9 \cdot \tau^5 + 6.3053 \cdot 10^{-31} \cdot s^{14} + 7.37549 \cdot 10^{-28} \cdot s^8 \cdot \tau^6 + 2.4619 \cdot 10^{-29} \cdot s^{12} \cdot \tau^4 + 8.1269 \cdot 10^{-30} \cdot s^{13} \cdot \tau^3 + 4.4763 \cdot 10^{-29} + 1.5775 \cdot 10^{-30} \cdot s^{14} \cdot \tau^2 + 4.78589 \cdot 10^{-29} + 1.657 \cdot 10^{-31} \cdot s^{15} \cdot \tau + 2.769 \cdot 10^{-29} \cdot t + 7.26479 \cdot 10^{-33} \cdot s^{16} + 2.035 \cdot 10^{-28} \cdot s^7 \cdot \tau^7 + 6.6865 \cdot 10^{-30} \cdot s^2.$$

На рисунках 2, 3 та 4 наведено графіки прогнозованих (верхньої та нижньої границь та середнього) значень, а також дійсного значення складових сил різання.

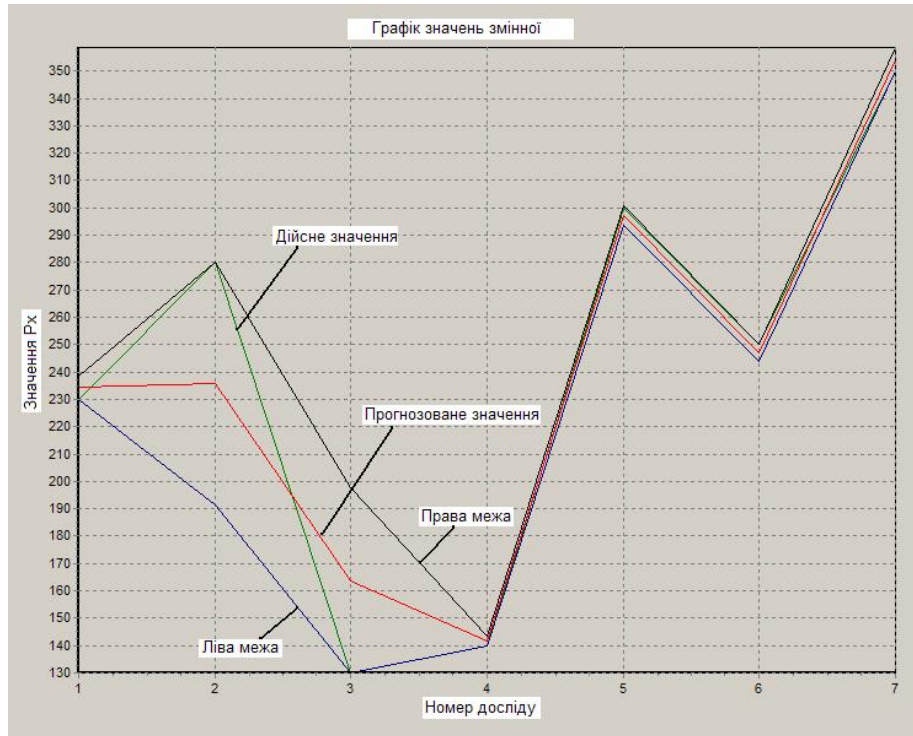


Рис. 2. Графіки дійсних значень сили P_x та діапазону його прогнозованих значень, що отримано за допомогою системи моделювання

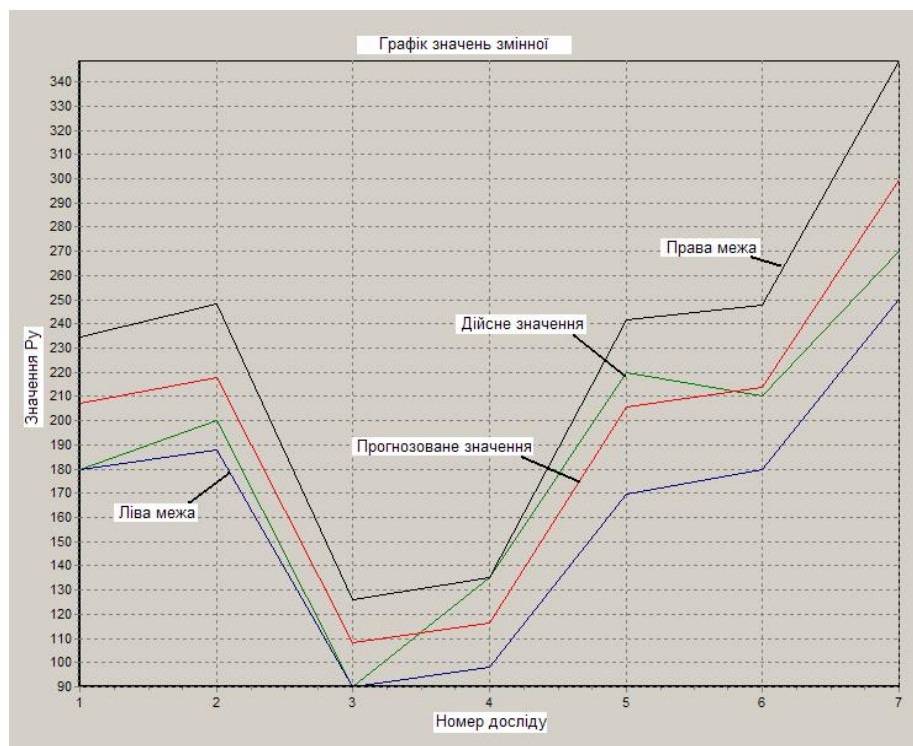


Рис. 3. Графіки дійсних значень сили P_y та діапазону прогнозованих значень, що отримано за допомогою системи моделювання

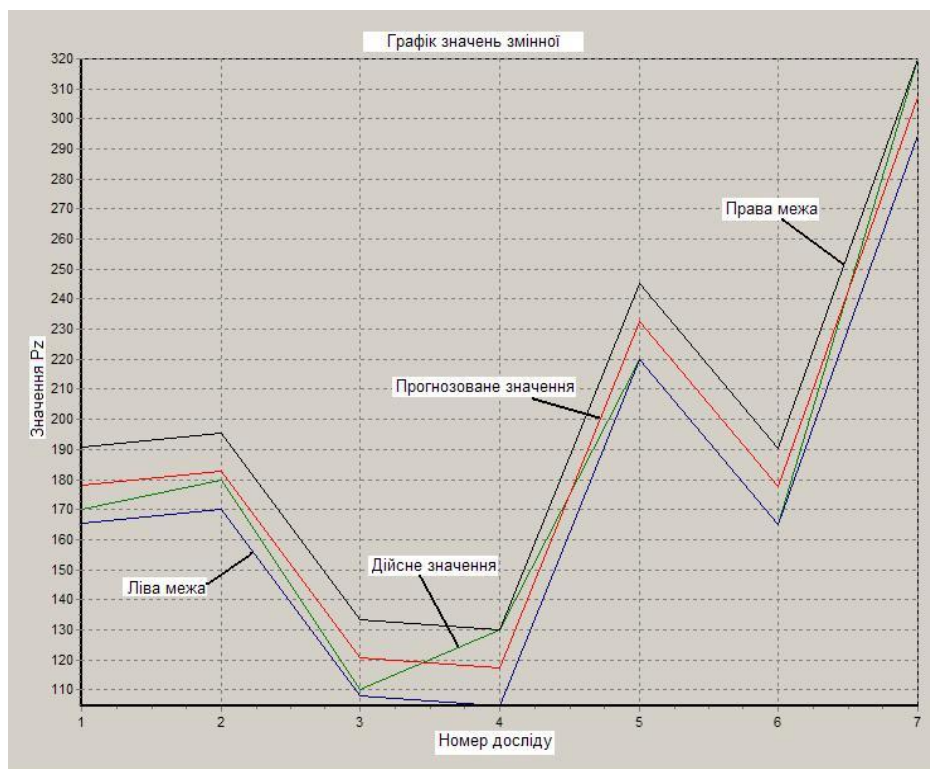


Рис. 4. Графіки дійсних значень сили P_z та діапазону прогнозованих значень, що отримано за допомогою системи моделювання

На рис. 5 наведено графіки прогнозованих (верхньої та нижньої границь та середнього значень), а також дійсних значень шорсткості обробленої поверхні R_z .

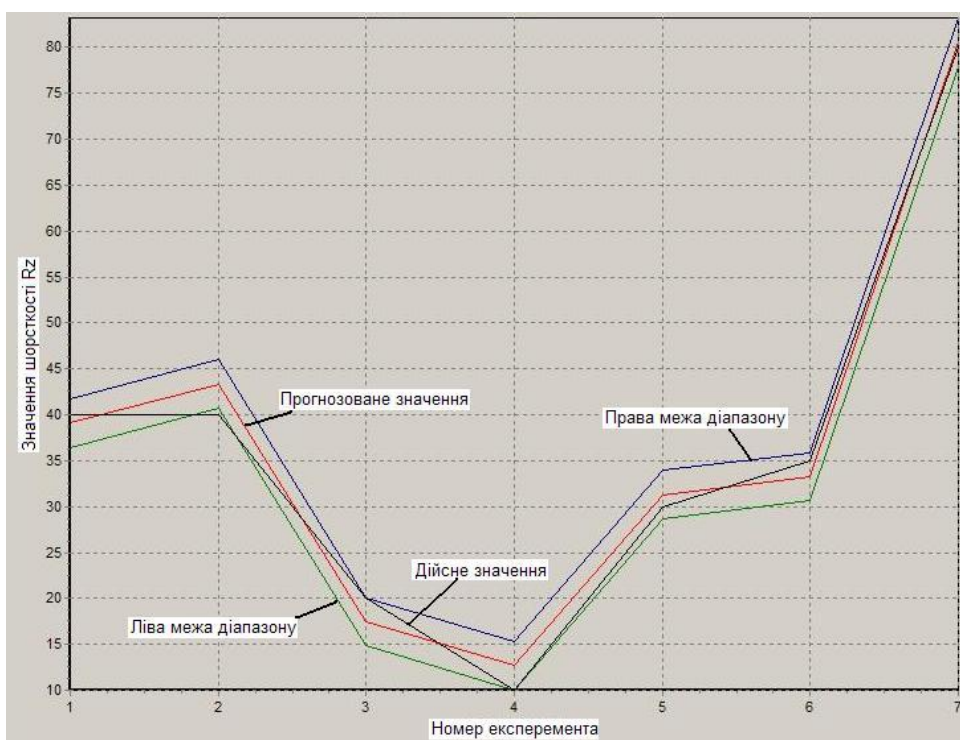


Рис. 5. Графіки дійсних значень та діапазону прогнозованих значень шорсткості R_z за номерами дослідів

Графічне зображення отриманої залежності прогнозованого значення шорсткості обробленої поверхні R_z , від швидкості різання V і подачі s при постійних значеннях глибини різання $t = 0.5$ мм та часу $\tau = 5$ хв наведено на рис. 6.

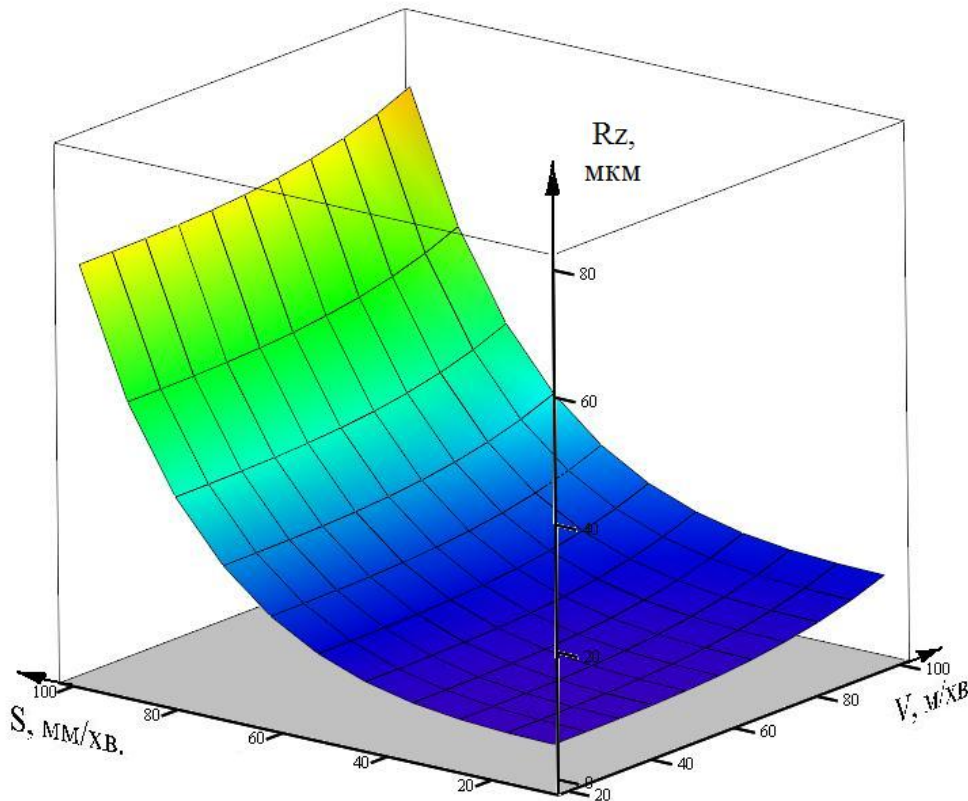


Рис. 6. Графік залежності шорсткості обробленої поверхні R_z , від швидкості різання V і подачі s (при $t = 0.5$ мм і $\tau = 5$ хв.).

Висновки

Нечіткий метод групового врахування аргументів дозволяє отримати математичну модель оптимальної складності та спрогнозувати вихідний параметр в визначеному діапазоні допустимих значень.

Програмна реалізація алгоритму нечіткого МГВА в вигляді системи моделювання, що апробована на визначенні вихідних параметрів процесу обробки деталей різанням, показала його ефективність при отриманні адекватних математичних моделей.

Отримані математичні залежності складових сил різання та шорсткості обробленої поверхні дозволяють їх використовувати для прогнозування відповідних параметрів та виконання інших технологічних розрахунків.

Методику математичного моделювання технологічних параметрів за допомогою нечіткого методу групового врахування аргументів та розроблену систему моделювання буде використано для дослідження та оптимізації параметрів процесу обробки важкооброблюваних матеріалів в технології приладобудування.

Література

1. Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров В.Д. Принятие решений на основе самоорганизации. – М.: Сов. радио, 1976. – 210 с.
2. Зайченко Ю.П., Кеббал О.Г., Крачковский В.Ф. Нечіткий метод групового врахування аргументів та його застосування в задачах прогнозування макроекономічних показників // Наукові вісті НУТУ «КПІ». – 2000, № 2. – С. 18–26.
3. Зайченко Ю.П. Нечеткий метод индуктивного моделирования в задачах прогнозирования макроекономических показателей. // Системні дослідження та інформаційні технології. 2003, №3. – С. 25–45.
4. Зайченко Ю.П. Основы проектирования интеллектуальных систем. Навчальний посібник. – К.: Видавничий дім «Слово», 2004. – 352 с.
5. Вислоух С.П., Катрук О.В. Моделирование технологических параметров нечітким методом групового врахування аргументів. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2007, №1 (89). – С. 169–172.

<p>Вислоух С.П., Катрук О.В., Заика А.И. Моделирование и прогнозирование сил резания и шероховатости обработанной поверхности нечетким методом группового учета аргументов</p> <p>Рассматриваются вопросы применения нечеткого метода группового учета аргументов для моделирования и прогнозирования технологических параметров. Приведены преимущества этого метода перед классическим МГУА и пример использования разработанной системы моделирования для прогнозирования выходных технологических параметров процесса резания.</p>	<p>Vysloukh S.P., Katruk O.V., Zaika A.I. Modeling and prediction of cutting forces and roughness of the treated surface by the Fuzzy Group Method of Data Handling</p> <p>Application of Fuzzy Group Method of Data Handling for a modeling and prediction of technological parameters are considered. Presented the advantages of this method in comparison with classic GMDH and example of developed modeling system usage for prediction output technological parameters of cutting process.</p>
---	--

*Надійшла до редакції
28 березня 2008 року*

УДК 621.923

РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФИНИШНОЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

¹⁾Филатов Ю.Д., ¹⁾Сидорко В.И., ¹⁾Филатов А.Ю., ¹⁾Яцук В.П., ²⁾Хейсел У., ¹⁾Сторчак М.,
¹⁾ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев, Украина, ²⁾Штуттгартский университет, г. Штуттгарт, Германия

Показано, что наиболее релевантным параметром шероховатости, определяемым по коэффициенту отражения света, является R_z , а контроль шероховатости методом рефлектометрии эффективен для поверхностей с $R_z \leq 0,3$ мкм

Введение. Постановка проблемы

Повышение эффективности финишной алмазно-абразивной обработки дета-